

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-147379

(43)Date of publication of application : 26.05.2000

---

(51)Int.Cl.

G02B 15/16

G02B 13/18

---

(21)Application number : 10-328882

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing :

04.11.1998

(72)Inventor : NAKAYAMA HIROKI

---

## (54) ZOOM LENS

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a rear focusing system zoom lens which has good optical performance over an entire varying power range from a wide angle end to a telephoto end or an entire object distance from an infinity object to a super close object and which utilizes a diffraction optical device.

SOLUTION: In this zoom lens having the four lens groups of a first group L1 having positive refracting power, a second group L2 having negative refracting power, a third group L3 having the positive refracting power, and a fourth group L4 in order from an object side, and performing variable power by moving the groups L2 and L4; the groups L1 and L2 have at least one diffraction optical device which is rotation symmetry to each optical axis, and when the number of a lens provided in the group L1 is defined as N1, the power variation ratio of an entire system is defined as Z, and the Abbe number of the material of the optical lens among the lenses possessed by the groups L1 and L2 is defined as  $\nu$ , the expressions of  $N1 < \sqrt{Z/2}$  and  $\nu < 72$  are satisfied.

---

## CLAIMS

---

### [Claim(s)]

[Claim 1] In a zoom lens which has four lens groups, the 1st group of positive refracting power, the 2nd group of negative refracting power, the 3rd group of positive refracting power, and the 4th group in order, moves the 2nd group and the 4th group to it and performs variable power in it from the object side. When an Abbe number of construction material of lenses with an arbitrary lens with which Z, this 1st group, and the 2nd group have a variable power ratio of N1, and the whole system for lens

number of sheets which this 1st group and the 2nd group have at least one diffraction optical element symmetrical with rotation to an optic axis respectively and this 1st group has is set to  $n$  [Equation 1]

A satisfied zoom lens.

[Claim 2] A zoom lens of claim 1 wherein said 4th group has positive refracting power.

[Claim 3] A zoom lens of claim 1 wherein said 4th group has negative refracting power.

[Claim 4] Claims 1 and 2 wherein said diffraction optical element comprises a laminated diffraction grating or 3 zoom lenses.

[Claim 5] In a zoom lens which has five lens groups the 1st group of positive refracting power the 2nd group of negative refracting power the 3rd group of positive refracting power the 4th group and the 5th group of positive refracting power in order moves this 2nd group and the 4th group to it and performs variable power in it from the object side When an Abbe number of construction material of lenses with an arbitrary lens with which  $Z$  this 1st group and the 2nd group have a variable power ratio of  $N1/C$  and the whole system for lens number of sheets which this 1st group and the 2nd group have at least one diffraction optical element symmetrical with rotation to an optic axis respectively and this 1st group has is set to  $n$  [Equation 2]

A satisfied zoom lens.

[Claim 6] A zoom lens of any 1 paragraph of claims 1-5 moving said 4th group on an optic axis and performing a focus.

[Claim 7] A zoom lens of any 1 paragraph of claims 1-6 wherein said diffraction optical element comprises two-layer composition which comprises 1 lamination or construction material from which distribution differs mutually.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention about a zoom lens by using a diffraction optical element for a part of lens system Several aberration It is related with the zoom lens which attained the miniaturization of the whole lens system of a high variable power ratio by the large caliber ratio used for the photographic camera which amended especially the chromatic aberration gooda video camera the camera for broadcast etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] These days in connection with small weight savings such

as a home video camera the zoom lens for an image pick-up is miniaturized. Power is directed towards shortening of whole length of the lens the miniaturization of a front ball diameter and simplification of composition especially in the zoom lens.

[0003] To the zoom lens for the latest video camera it has a high variable power ratio of 10 times or more and moreover the zoom lens with the whole small lens system is demanded strongly.

[0004] The so-called zoom lens of the rear focus type which moves lens groups other than the 1st group by the side of an object and performs a focus as one means to attain these purposes is known.

[0005] Generally compared with the zoom lens which the zoom lens of a rear focus type moves the 1st group and performs a focus the effective diameter of the 1st group becomes small. The miniaturization of the whole lens system becomes easy and there are the features like close photographing especially since close photographing becomes very easy and it is carrying out by moving a further comparatively small lightweight lens group. The driving force of a lens group is small and ends and quick focusing is made.

[0006] As a zoom lens of such a rear focus type for example JP62-215225A in JP62-206516A JP62-24213A JP63-247316A and JP4-43311A. The 1st group of refracting power more positive than the object side to order the 2nd group of negative refracting power the 3rd group of positive refracting power and the zoom lens of the 4 group type rear focus type which had four lens groups of the 4th group of positive refracting power moved the 2nd group performed variable power moved the 4th group and performed the image surface fluctuation accompanying variable power and a focus is proposed.

[0007] The 1st group of refracting power more positive than the object side to order with JP4-301612A. It has five lens groups of the 2nd group of negative refracting power the 3rd group of positive refracting power the 4th group of positive refracting power and the 5th group of negative refracting power. The 2nd group is moved variable power is performed the 4th group is moved the amendment and the focus of image surface fluctuation accompanying variable power are performed and the zoom lens of 5 group type which brought the whole lens system close to telephoto type and attained shortening of whole length of the lens is proposed.

[0008] On the other hand high optical performance has been obtained in many zoom lenses attaining the miniaturization of the whole lens system amending several aberration good by establishing an aspheric surface into a lens system.

[0009] The optical system which provided and amended the diffraction optical element which has a diffraction operation about the chromatic aberration among several aberrations to a part of lens side or optical system other than the method of amending combining the \*\* material from which distribution differs. For example it is proposed by JP4-213421A JP6-324262A U.S. Pat. No. 5268790 etc. Among these in U.S. Pat. No. 5268790 the zoom lens which used the diffraction optical element for the 2nd group and the 3rd group is proposed.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Generally in order to amend a chromatic aberration in the zoom lens of a high variable power ratio it is necessary to use the negative lens of high distribution and the positive lens of low distribution abundantly in the 1st group and to use the negative lens of low distribution and the positive lens of high distribution also for the 2nd group for variable power.

[0011] In particular in an about 50 times [ of a 10 or more-time variable power ratio ] zoom lens amendment of the chromatic aberration became important and there was two sheets or a tendency which it is necessary to use three or more sheets the lens number of sheets of the 1st group increases as a result and the whole lens system enlarges in the 1st group about the positive lens of low distribution.

[0012] The features like on the other hand if a rear focus method is adopted in a zoom lens the whole lens system will be miniaturized a focus quick again will become possible and also close photographing becomes easy are acquired.

[0013] However the problem that the aberration variation in the case of a focus becomes large and it becomes very difficult to obtain high optical performance covering the object distance at large [ from an infinite distance object to a short distance object ] on the other hand arises.

[0014] For example the problem that it becomes very difficult for change of the chromatic aberration by variable power to become large with the zoom lens of high variable power by a large caliber ratio and to migrate to all the variable power ranges and to obtain high optical performance covering the object distance at large arises.

[0015] In order that especially a zoom ratio may amend the chromatic aberration generated within each lens group with the zoom lens which comprises four groups of a high variable power ratio or five groups which are about 50 times for example 10 or more times the lens which comprises low distribution glass and a lamination lens are used in many cases. And to the lens group by using an aspheric surface the lens number of sheets of a lens group is reduced and the method of shortening whole length of the lens is taken.

[0016] However if lens number of sheets is reduced the element which amends a chromatic aberration will become insufficient and it becomes difficult to amend change of the chromatic aberration accompanying variable power good.

[0017] A chromatic aberration is also mitigable if low distribution glass is generally used for a positive lens. However generally the glass of low distribution becomes lens shape with difficult processing with a low refractive index easily. If refracting power of the 1st group or the 2nd group is weakened for example for this reason refracting power of other lens groups must also be weakened according to this as a result the path of the 1st group will need to become large will need to increase the lens thickness of the 1st group as a result and whole length of the lens will become huge.

[0018] In the zoom lens of a 4 group type or 5 group type rear focus type this

inventionBy setting up the lens constitution of each lens group appropriatelythe object distance at large [ from an infinite distance object to / migrates to all the variable power ranges from a wide angle end to a tele edge and / a super-near object ] is coveredand it aims at offer of the zoom lens of a high variable power ratio by a large caliber ratio with good optical performance.

[0019]In the zoom lens of a 4 group type or 5 group type rear focus typea diffraction optical element is especially introduced into the 1st group and the 2nd group respectivelyReduce the lens number of sheets of the 1st group and the 2nd groupand attain the miniaturization of whole length of the lenscarry out the weight saving of the 1st groupreducing the chromatic aberration generated by the 1st group and the 2nd group by using a diffracted-light study operationand. It aims at offer of the zoom lens which has good optical performance over all the variable power ranges from a wide angle end to a tele edge.

[0020]

[Means for Solving the Problem]A zoom lens (1-1) of this inventionand the 1st group of refracting power more positive than the object side to orderIn a zoom lens which has four lens groups of the 2nd group of negative refracting powerthe 3rd group of positive refracting powerand the 4th groupmoves this 2nd group and the 4th groupand performs variable powerWhen an Abbe number of construction material of lenses with an arbitrary lens with which Zthis 1st groupand the 2nd group have a variable power ratio of N1C and the whole system for lens number of sheets which this 1st group and the 2nd group have at least one diffraction optical element symmetrical with rotation to an optic axisrespectivelyand this 1st group has is set to nu[0021]

[Equation 3]

It is characterized by being satisfied.

[0022](1-2) In the zoom lens which has five lens groupsthe 1st group of positive refracting powerthe 2nd group of negative refracting powerthe 3rd group of positive refracting powerthe 4th groupand the 5th group of positive refracting powerin ordermoves this 2nd group and the 4th group to itand performs variable power in it from the object sideWhen the Abbe number of the construction material of lenses with an arbitrary lens with which Zthis 1st groupand the 2nd group have a variable power ratio of N1C and the whole system for the lens number of sheets which this 1st group and the 2nd group have at least one diffraction optical element symmetrical with rotation to the optic axisrespectivelyand this 1st group has is set to nu[0023]

[Equation 4]

It is characterized by being satisfied.

[0024]

[Embodiment of the Invention] Drawing 1 – drawing 3 are a lens sectional view of the wide angle end of the numerical example 1 of this invention an aberration figure of a wide angle end and an aberration figure of a tele edge. Drawing 4 – drawing 6 are a lens sectional view of the wide angle end of the numerical example 2 of this invention an aberration figure of a wide angle end and an aberration figure of a tele edge. Drawing 7 – drawing 9 are a lens sectional view of the wide angle end of the numerical example 3 of this invention an aberration figure of a wide angle end and an aberration figure of a tele edge.

[0025] First the feature of the lens constitution of drawing 1 and the numerical examples 1 and 2 of drawing 4 is explained. In drawing 1 and drawing 4 L1 is the 1st group of positive refracting power the 2nd group of refracting power negative in L2 the 3rd group of refracting power positive in L3 and the 4th group of refracting power positive in L4. SP is an aperture diaphragm and is stationed ahead of the 3rd group L3. G is glass block such as a color separation optical system a faceplate filter. IP is the image surface.

[0026] In this embodiment on the occasion of the variable power from a wide angle end to a tele edge the 2nd group is moved to the image surface side like an arrow and the 4th group was moved having a convex locus in the object side and the image surface fluctuation accompanying variable power is amended.

[0027] The rear focus type which moves the 4th group on an optic axis and performs a focus is adopted. The curve 4a of the solid line of the 4th group and the curve 4b of a dotted line which are shown in the figure show the moving track for amending the image surface fluctuation at the time of following on the variable power from a wide angle end when carrying out the focus to the infinite distance object and the short distance object respectively to a tele edge. The 1st group and the 3rd group are immobilization in the case of variable power and a focus. In order to lessen the variable power assignment of the 2nd group the 1st group may be moved in the case of variable power.

[0028] In this embodiment move the 4th group and the image surface fluctuation accompanying variable power is amended and the 4th group is moved and it is made to perform a focus. It is made to move so that it may have a convex locus to the object side on the occasion of the variable power from a wide angle end to a tele edge as shown especially in the curves 4a and 4b of the figure. This aimed at effective use of the space of the 3rd group and the 4th group and shortening of whole length of the lens is attained effectively.

[0029] In this embodiment when performing a focus from an infinite distance object to a short distance object in a tele edge it is carrying out by letting out the 4th group to the front as shown in the straight line 4c of the figure.

[0030] In this embodiment the diffraction optical element of the symmetry of revolution was respectively provided in the 1st group and the 2nd group to at least one optic axis the phase was set up appropriately the chromatic aberration which this generates

by the 1st group and the 2nd group was reduced and the chromatic aberration is amended good over all the variable power ranges.

[0031] The diffraction optical element in this embodiment is manufactured in binary by the lithographic technique which is the manufacture technique of a holographic optical element (HOE). A diffraction optical element may be manufactured by the binary optics (BINARY OPTICS). In this case in order to raise diffraction efficiency it may be made the shape of the shape of a saw called kino form. It may manufacture by molding by the direction manufactured by these methods.

[0032] The shape of the diffraction optical element in this embodiment When  $\lambda$  and distance from an optic axis are set to  $h$  and a phase is set to  $\phi(h)$  for a reference wavelength ( $d$  line) it is  $\phi(h) = 2\pi/\lambda (C_1 h^2 + C_2 h^4 + C_3 h^6 + \dots - C_{(i)} \text{ and } h^{2i})$ . It is expressed with the formula of (1).

[0033] Next the feature of the other composition of the numerical examples 1 and 2 is explained.

[0034] When the Abbe number of the construction material of lenses with an arbitrary lens with which this 1st group and the 2nd group have a variable power ratio of N1C and the whole system for the lens number of sheets which this 1st group and the 2nd group have at least one diffraction optical element symmetrical with rotation to the optic axis respectively and this 1st group has is set to  $\nu$  [0035]

[Equation 5]

It is satisfied.

[0036] By this lessening the lens number of sheets of the 1st group and the 2nd group it crossed to all the variable power ranges and the chromatic aberration is amended good. A conditional expression (a2) is  $23 < \nu < 72$  preferably on optical performance further... (a2')

It is good to make it satisfied.

[0037] In the numerical example 1 the 1st group L1 was constituted from the two positive lenses G1 and G2 and has provided the diffraction optical element in the lens side by the side of the image surface of the positive lens G1 by the side of the object. The 2nd group L2 was constituted from negative lens G3 of two sheets and G4 and has provided the diffraction optical element in the lens side by the side of the object of G4 of the negative lens by the side of the image surface. the 3rd group L3 and the 4th group L4 — the lens side by the side of an object consists of aspheric surfaces most respectively.

[0038] In the numerical example 2 the 1st group L1 was constituted from the negative lens G1 and the positive lens G2 and has provided the diffraction optical element in the lens side by the side of the image surface of the positive lens G2 by the side of the image surface. The 2nd group L2 was constituted from negative lens G3 of two sheets and G4 and has provided the diffraction optical element in the lens

side by the side of the object of the negative lens G4 by the side of the image surface. the 3rd group L3 and the 4th group L4 — the lens side by the side of an object consists of each aspheric surfaces most.

[0039](+--4) In the numerical examples 1 and 2 of these the 3rd group L3 has diaphragm SP ahead and is a positive lens group of immobilization during zooming and the 4th positive group L4 amends image surface fluctuation by variable power and it is also performing distance doubling by the 4th group L4.

[0040](+--5) He constitutes the 1st group L1 from two positive lenses and is trying to have a plate which has a diffraction optical surface of at least one sheet in the order or middle in numerical example 1 as another lens constitution of the 1st group L1.

[0041] He constitutes from two sheets of a positive lens a negative lens or a negative lens and a positive lens and is trying to have a diffraction optical element in one of fields as composition of 1st another group L1. At this time lamination may be sufficient as a positive lens and a negative lens. It is necessary to amend a chromatic aberration by this lamination side and having two incomes in that case and the diffraction optical element needs to strengthen positive refracting power.

[0042](+--6) As another composition of the 2nd group L2 he constitutes from two negative lenses like the numerical examples 1 and 2 and is trying to have a plate which has a diffraction optical element of at least one sheet in the order or middle.

[0043] It constitutes from two sheets a positive lens and a negative lens or two sheets a negative lens and a positive lens and may be made to have a diffraction optical element in one of fields as composition of 2nd another group L2.

[0044] Next the feature of lens constitution of the numerical example 3 of drawing 7 is explained. The numerical example 3 is 5 group zoom lens of a high variable power ratio with a variable power ratio of about 50 times.

[0045] In drawing 7 L1 is the 1st group (the 1st lens group) of positive refracting power, the 2nd group (the 2nd lens group) of refracting power negative in L2, the 3rd group (the 3rd lens group) of refracting power positive in L3, the 4th group (the 4th lens group) of refracting power negative in L4 and the 5th group (the 5th lens group) of refracting power positive in L5 among a figure. SP is an aperture diaphragm and is stationed ahead of the 3rd group L3. IP is the image surface.

[0046] G is glass block such as a color separation optical system a faceplate a filter. On the occasion of variable power from a wide angle end to a tele edge the 2nd group L2 is moved to the image surface side like an arrow and the 4th group is moved so that it may have a convex locus in the object side and image surface fluctuation accompanying variable power is amended and is required. A rear focus type which moves the 4th group on an optic axis and performs a focus is adopted.

[0047] The curve 4a of a solid line of the 4th group and the curve 4b of a dotted line which are shown in drawing 7 show a moving track for amending image surface fluctuation at the time of following on variable power from a wide angle end when carrying out the focus to an infinite distance object and a short distance object



respectively to a tele edge. The 1st group, the 3rd group and the 5th group are immobilized in the case of variable power and a focus.

[0048] In this embodiment, move the 4th group and image surface fluctuation accompanying variable power is amended and the 4th group is moved and it is made to perform a focus. It is made to move so that it may have a convex locus to the object side on the occasion of variable power from a wide angle end to a tele edge as shown especially in the curves 4a and 4b of the figure. This aimed at effective use of air of the 3rd group and the 4th group and shortening of whole length of the lens is attained effectively.

[0049] In this embodiment, when performing a focus from an infinite distance object to a short distance object in a tele edge it is carrying out by letting out the 4th group to the front as shown in the straight line 4c of the figure.

[0050] In 5 group zoom lens in this embodiment, the 1st group was constituted from one negative lens and three positive lenses and a diffraction optical element of the symmetry of revolution is provided in a lens side by the side of the image surface of a lamination lens of a negative lens and a positive lens to an optic axis. Shape of a diffraction optical element is a formula (1). It is the same as that of the shown numerical examples 1 and 2.

[0051] The 2nd group L2 was constituted from four lenses of a lamination lens of two negative lenses and negative lenses and positive lenses and has provided a diffraction optical element in a lens side by the side of the image surface of the 2nd negative lens.

[0052] Next, the feature of other composition of the numerical example 3 is explained.

[0053]<sup>(\*\*1)</sup> When an Abbe number of construction material of lenses with an arbitrary lens with which Z, this 1st group and the 2nd group have a variable power ratio of  $N1C$  and the whole system for lens number of sheets which this 1st group and the 2nd group have at least one diffraction optical element symmetrical with rotation to an optic axis respectively and this 1st group has is set to  $\nu$  [0054]

[Equation 6]

It is satisfied.

[0055] By this, lessening the lens number of sheets of the 1st group and the 2nd group, it crossed to all the variable power ranges and the chromatic aberration is amended good. A conditional expression (a2) is  $23 < \nu < 72$  preferably on optical performance further... (a2')

It is good to make it satisfied.

[0056]<sup>(\*\*2)</sup> The 3rd group L3 consists of four lenses of a positive lens, the lamination lens of a positive lens and a negative lens and a positive lens.

[0057]<sup>(\*\*3)</sup> The 4th group L4 consists of lamination lenses of a positive lens and a negative lens.

[0058](\*\*4) The 5th group L5 consists of three lenses of a lamination lens of a positive lens, a negative lens and a positive lens.

[0059] Next, the feature of each numerical example of this invention is explained.

[0060] It is better for a diffraction optical element to arrange to a lens side by the side of an object except for cases of being special like it is unavoidable on aberration compensation most in [neither of] the examples. This is for a diffraction optical element's comprising a slot of order of quite narrow width for example several micrometers or sub micrometer and protecting a lens surface from dust etc.

[0061] By arranging a diffraction optical element and choosing a phase of a diffraction optical element suitably into the 1st group L1, a chromatic aberration generated by the 1st group L1 for example two waves of chromatic aberration such as d line and g line is suppressed small and they are suppressing small change by zooming of a chromatic aberration as the whole. A chromatic aberration (secondary spectrum) remains in a tele edge at this time.

[0062] By arranging a diffraction optical element and on the other hand choosing a phase of a diffraction optical element suitably into the 2nd group L2, a chromatic aberration generated by the 2nd group L2 for example two waves of chromatic aberration such as d line and g line is suppressed small and they are suppressing small change by zooming of a chromatic aberration as the whole. A chromatic aberration (secondary spectrum) which remains in a tele edge at this time becomes in the direction opposite to the 1st group L1.

[0063] In this invention in this way a diaphragm S twist also uses a diffraction optical element for a lens group, the variable power group L1, i.e. the 1st group and the 2nd group L2 by the side of an object and lessens a secondary spectrum by variable power.

[0064] Namely as mentioned above, the 1st group L1 and the 2nd group L2 for variable power. By arranging a diffraction optical surface of at least one sheet which is the symmetry of revolution to an optic axis respectively, suppressed small a chromatic aberration of a reference wavelength (d line and g line) within the 1st group L1 and the 2nd group L2 in an opposite direction was made to generate a secondary spectrum generated by each by a variable power group. It had two incomes by the 1st group L1 and the 2nd group L2 and a chromatic aberration good as a whole is attained.

[0065] By constituting in this way a lens which constitutes the 1st group L1 has one sheet or two sheets or more for two positive lenses of low distribution or a negative lens of high distribution and a positive lens of low distribution respectively and also two or more lenses [\*\*\*\* / pasting a negative lens and a positive lens together] share it and it is performing achromatism. And by a diffraction optical element, lens number of sheets used for amendment of a chromatic aberration is decreased and composed lens number of sheets is reduced as a whole. It has two or more sheets or one sheet for a negative lens of low distribution [a lens which constitutes the 2nd group L2] and a positive lens of high distribution respectively and also two or more lenses [\*\*\*\* / pasting a negative lens and a positive lens together] share and achromatism is

performed. And by a diffraction optical element lens number of sheets used for amendment of a chromatic aberration decreases and composed lens number of sheets is reduced as a whole.

[0066] Even if it performs high-variable-power-izing and a miniaturization by having such composition a zoom lens can be attained with cheap composition without using expensive \*\* material of high distribution or low distribution. The further miniaturization can be attained also in a zoom lens exceeding 10 times maintaining good performance. An Abbe number of a lens which specifically constitutes the 1st lens group and the 2nd lens group is possible also at the range grade of  $23 < \nu < 65$  in variable power which is about 10 times in the range of  $23 < \nu < 72$  although it is possible.

[0067] When setting to  $F_i$  refracting power of the  $i$ -th group that has a diffraction optical element as a method of reducing a chromatic aberration of a concrete zoom lens it is preferred to have the 1st [ at least ] page of a field with which the following formula is filled.

[0068]

$F_i - C_i < 0 \dots (i = 12) \dots$  — here  $C_i$  paraxial refracting power by a diffraction optical surface in the  $i$ -th group  $L_i$  [ express and ] When this paraxial refracting power  $C_i$  has a positive value and refracting power of the  $i$ -th group has a value negative and negative in refracting power  $C_i$  refracting power of the  $i$ -th group has positive. Also at the time of a positive lens group also at the time of a negative lens group it becomes the composition which can make curvature of the lens group loose and it is effective on aberration compensation.

[0069] (1) Understanding in a formula is being able to adjust a phase with the distance  $h$  from an optic axis. As a lens diameter is large influence of a high order coefficient becomes larger. A miniaturization is advanced in a noncommercial zoom lens described by this example especially a zoom lens for videos and a large lens has few not much big lenses h.e. distance. It is preferred that it is efficiently satisfied with attaining effective aberration compensation of the following conditional expression taking advantage of a coefficient also in a lens small moreover. However  $C_{2i}$  and  $C_{3i}$  are the coefficients of the 4th paragraph in (1) type of a diffraction optical element in the  $i$ -th group and the 6th paragraph respectively.

[0070]

$1 \text{ and } 10^{-4} < C_{2i}/C_i < 1 \text{ and } 10^{-1} \dots (3) \dots 1 \text{ and } 10^{-7} < C_{3i}/C_i < 1 \text{ and } 10^{-2} \dots (4) \dots$  — a formula of these as mentioned above it is a thing for carrying out aberration compensation effectively in a small path. If it separates from these conditional expressions aberration compensation not only becomes difficult but becomes difficult to manufacture a diffraction optical surface and it is not suitable.

[0071] As mentioned above by a diffraction optical element arranged in the 1st group  $L_1$  and the 2nd group  $L_2$  it has two incomes a chromatic aberration (secondary spectrum) generated in each lens group is suppressed small and change by zooming of

a chromatic aberration by movement of the 2nd group L2 is also suppressed small. At this time the 5th fixed negative lens group can also be further allotted to the image surface side of the 4th group L4. At this time the 5th group may be constituted so that the whole may serve as a looking-far type and it may attain the further miniaturization.

[0072] Like an example, refracting power in a case of performing chromatic aberration correction instead of [prosaic] lamination of the 1st group L1 and the 2nd group L2 etc. by a diffraction optical element is not so required.

[0073] Here, refracting power may be given for some transverse chromatic aberration especially a curvature of field and distortion correction. If the following conditions are fulfilled when setting  $F_{bo1}$  as the focal distance of the 1st group L1 and a focal distance of L2 to  $F_1$  and  $F_2$  for a focal distance of the 1st and 2nd group L1 in that case and a diffraction optical element of L2, it is good also to aberration compensation including a chromatic aberration difficultly also about manufacture.

[0074]

$0.05 \leq F_1/F_{bo1} < 0.7 \dots (5)$   $0.05 \leq F_2/F_{bo2} < 0.7 \dots (6)$  -- as for especially a lens group that has a diffraction optical element it is preferred that it is in the next numerical value range. especially -- the time of a high variable power ratio of 10 times or more --  $1.0 < F_1/(F_w - F_t)^{1/2} < 3.0 \dots (7)$  -- especially in the case of about 10-time variable power  $1.0 \leq F_1/(F_w - F_t)^{1/2} < 2.5 \dots (7')$  however  $F_w$  and  $F_t$  are the focal distances of the whole system of a wide angle end and a tele end respectively. If it is within the limits of this work of a diffraction optical element can be pulled out effectively. If it deviates from a lower limit of this (7) type, refracting power of the 1st group L1 will be too strong that it stops to be unable to amend a chromatic aberration by a diffracted-light study system and will become difficult also about manufacture. If upper limit is exceeded even if it will not use a diffraction optical element, removal of a chromatic aberration becomes easy. Especially in order to obtain a lens of a desired focal distance, refracting power of the 2nd group L2 becomes strong, an aberration amount generated by the 2nd group L2 becomes large and it is not application. That is, the PETTSU bar sum becomes large negative and a curvature of field becomes over amendment.

[0075] It is preferred that a diffraction optical element faced one and suited and it is satisfied with a case of the following formula.

[0076]

$|F_i/R_{boi}| < 1.8 \dots (8)$  -- here  $R_{boi}$  is a curvature radius of a field in  $i$  group which forms a diffraction optical element. A base surface is a flat surface at the time of  $R_{bo1} = \text{infinity}$ . This (8) If it deviates from a formula, an effect of a diffracted-light study system cannot fully be pulled out without the ability to amend aberration generated on a curved surface of a base by a diffracted-light study system and it is not suitable.

[0077] Generally, a chromatic aberration opposite to a chromatic aberration generated by the usual refraction generates a diffraction optical element. For example, when

removing a lens which was performing achromatism according to the conventional lamination side etc. and reducing lens number of sheets it is good to use as a diffraction optical element a field which has a chromatic aberration assignment opposite to the chromatic aberration assignment generated in respect of lamination. If it is made such a chromatic aberration opposite to a chromatic aberration generated by the usual refraction occurs on a diffraction optical element the direction will become the same thing as a chromatic aberration generating direction in a lamination side which it has from the first achromatism of its such as lamination will become possible on a single lens.

[0078] When it sees from a viewpoint of a chromatic aberration coefficient (KYORITSU SHUPPAN stock issue Yoshiya Matsui work "lens design method" the 89th page) a diaphragm S twist in respect of the object side The axis top chromatic aberration coefficient L and the chromatic-aberration-of-magnification coefficient T arrange a diffraction optical element to a field of identical codes and also as for a diaphragm S twist it is preferred that both sides arrange a diffraction optical element to a field of an inverse code in respect of the image surface side.

[0079] Thereby the lens which constitutes the 1st group L1 can attain the further miniaturization a chromatic aberration being reduced being able to reduce composed lens number of sheets and maintaining good performance by a diffraction optical element.

[0080] When setting to  $t_1$  thickness on an optic axis of a lens which constitutes the 1st group L1 especially it is preferred to fill the following conditional expression.

[0081]

$0.1 < t_1/F_1 < 0.33 \dots (9)$  -- when setting to  $t_2$  thickness on an optic axis of a lens which constitutes the 2nd group L2 especially it is preferred to fill the following conditional expression. especially -- the time of high twice of 10 times or more --  $0.05 < t_2/F_2 < 1.5 \dots (10)$  -- at the time of about further 10 times.  $0.55 < t_2/F_2 < 0.4 \dots (10')$  This (9) A formula and (10) types are (2) when a range effectively used in a diffraction optical element is shown and a diffraction optical element is used. As a part of a formula described even if curvature is loose desired refracting power is acquired. If combination with a concave lens (the 1st lens group L1) for chromatic aberration correction and a convex lens (the 2nd lens group L2) can be abolished by a diffraction optical element it will mean that thickness of a lens becomes thin and was used effectively.

[0082] At the time of high twice of 10 times or more since change of aberration is suppressed it tends to become thick but it is possible to make it thin by a diffraction optical element.

[0083] (9) If it deviates from a maximum of (10) types also in the usual glass lens it will be possible thickness and a diffraction optical element will not be used effectively. When it deviates from a lower limit refracting power by diffraction is seriously needed generating of aberration becomes large and it is not suitable.

[0084]Although not indicated to this example it is also possible to attain the 1st group lens group L1 or the 2nd lens group L2 by one sheet using a diffraction optical element.

[0085]A thing of 1 lamination of kino form shape of one layer shown in drawing 10 as composition of a diffraction optical element used by this embodiment a thing of two-layer composition which laminated two layers from which grid thickness as shown in drawing 13 differs (or it is the same) etc. are applicable.

[0086]Drawing 11 is the wavelength dependence characteristic of diffraction efficiency of the primary diffracted light of the diffraction optical element 101 shown in drawing 10. Composition of the actual diffraction optical element 101 applies ultraviolet curing resin to the surface of the substrate 102 and forms the layer 103 of the grid thickness  $d$  that diffraction efficiency of the primary diffracted light will be 100% on wavelength of 530 nm at a resin part.

[0087]It falls as diffraction efficiency of a design degree separates from optimized wavelength of 530 nm so that clearly [ in drawing 11 ] and on the other hand diffraction efficiency of the zero-order diffracted light of a degree near the design degree and the secondary diffracted light is increasing. An increase in the diffracted lights other than the design degree serves as the flare and leads to a fall of resolution of an optical system.

[0088]The MTF characteristic to spatial frequency at the time of creating the numerical example 1 by the shape of a lattice type of drawing 10 is shown in drawing 12 (A) and (B). MTF of a low frequency region is falling a little with the figure.

[0089]The wavelength dependence characteristic of diffraction efficiency of the primary diffracted light of a diffraction optical element of a lamination type which laminated the two layers 104, 105 shown in drawing 13 is shown in drawing 14.

[0090]in drawing 13 it consists of ultraviolet curing resin ( $n_d=1.499$ ,  $n_{ud}=54$ ) on the substrate 102 — 104 [ layer / 1st ] is formed and it consists of another ultraviolet curing resin ( $n_d=1.598$ ,  $n_{ud}=28$ ) on it — 105 [ layer / 2nd ] is formed. In combination of this construction material the grid thickness  $d_1$  of 104 is setting the 1st layer of grid thickness  $d_2$  of  $d_1=18.8$  micrometer and the 2nd layer 105 to  $d_2=10.5$  micrometer.

[0091]By using a diffraction optical element of a laminated structure so that drawing 14 may show diffraction efficiency of a design degree has the high diffraction efficiency of not less than 95% throughout the using wavelength.

[0092]The MTF characteristic to spatial frequency at the time of creating the numerical example 1 by the shape of a lattice type of drawing 14 is shown in drawing 15 (A) and (B). If a diffraction optical element of a laminated structure is used MTF of low frequency will improve and the desired MTF characteristic will be obtained. Thus optical performance is further improvable if a laminated structure is used as a diffraction optical element concerning this invention.

[0093]Not a thing that limits construction material to ultraviolet curing resin but other plastic materials can be used as a diffraction optical element of the above-mentioned

laminated structure and the 1st layer 104 may be directly formed in a substrate depending on a substrate. Each grid thickness does not necessarily need to differ and as shown in drawing 16 depending on combination of material grid thickness of the two layers 104 and 105 may be made equal.

[0094] In this case since the shape of a lattice type is not formed on the surface of a diffraction optical element it can excel in protection-against-dust nature and the assembly-operation nature of a diffraction optical element can be raised.

[0095] Next a numerical example of this invention is shown. in a numerical example --  $r_i$  -- the object side -- order -- it is a curvature radius of the  $i$ -th lens side and as for the  $i$ -th lens thickness and air spacing and  $n_i$  and  $n_{i+1}$  are a refractive index and an Abbe number of glass of the  $i$ -th lens in order from the each object side in the object side. The above-mentioned monograph affair type and a relation of a numerical example are shown in table-1.

[0096] Aspherical surface shape is expressed with a becoming formula when a direction of movement of a Y-axis and light is made positive to the X-axis an optic axis and a perpendicular direction and a paraxial curvature radius  $KBCDE$  and  $F$  are respectively made into an aspheric surface coefficient for  $R$  in an optical axis direction. "D-0X" means " $10^{-x}$ ."

[0097]

[Equation 7]

It expresses with the becoming formula. "D-0X" means " $10^{-x}$ ."

[0098]

[External Character 1]

[0099]

[External Character 2]

[0100]

[External Character 3]

[0101]

[Table 1]

[0102]

[Effect of the Invention] According to this invention (w. 1) In the zoom lens of a 4

group type or 5 group type rear focus type By setting up the lens constitution of each lens group appropriately the object distance at large [ from an infinite distance object to / migrates to all the variable power ranges from a wide angle end to a tele edge and / a super-near object ] can be covered and the zoom lens of a high variable power ratio can be attained by a large caliber ratio with good optical performance.

[0103] In the zoom lens of a 4 group type or 5 group type rear focus type a diffraction optical element is respectively introduced into the 1st group and the 2nd group. Reduce the lens number of sheets of the 1st group and the 2nd group and attain the miniaturization of whole length of the lens carry out the weight saving of the 1st group reducing the chromatic aberration generated by the 1st group and the 2nd group by using a diffracted-light study operation and. The zoom lens which has good optical performance over all the variable power ranges from a wide angle end to a tele edge can be attained.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The lens sectional view of the numerical example 1 of this invention

[Drawing 2] The aberration figure of the wide angle end of the numerical example 1 of this invention

[Drawing 3] The aberration figure of the tele edge of the numerical example 1 of this invention

[Drawing 4] The lens sectional view of the numerical example 2 of this invention

[Drawing 5] The aberration figure of the wide angle end of the numerical example 2 of this invention

[Drawing 6] The aberration figure of the tele edge of the numerical example 2 of this invention

[Drawing 7] The lens sectional view of the numerical example 3 of this invention

[Drawing 8] The aberration figure of the wide angle end of the numerical example 3 of this invention

[Drawing 9] The aberration figure of the tele edge of the numerical example 3 of this invention

[Drawing 10] The explanatory view of the diffraction optical element concerning this invention

[Drawing 11] The explanatory view of the wavelength dependence characteristic of the diffraction optical element concerning this invention

[Drawing 12] The MTF characteristic figure of the diffraction optical element concerning this invention

[Drawing 13] The explanatory view of the diffraction optical element concerning this invention



[Drawing 14]The explanatory view of the wavelength dependence characteristic of the diffraction optical element concerning this invention

[Drawing 15]The MTF characteristic figure of the diffraction optical element concerning this invention

[Drawing 16]The explanatory view of the diffraction optical element concerning this invention

[Description of Notations]

L1 The 1st group

L2 The 2nd group

L3 The 3rd group

L4 The 4th group

L5 The 5th group

SP Diaphragm

IP Image surface

deltaM meridional image surface

deltaS sagittal image surface

d d line

g g line

101 Diffraction optical element

102 Base

103104105 Layer

---

(19)日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-147379

(P2000-147379A)

(43)公開日 平成12年5月28日(2000.5.28)

(51)IntCl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テレポート(参考)

G 0 2 B 15/16  
13/18G 0 2 B 15/16  
13/18

2 H 0 8 7

審査請求 未請求 請求項の数7 F D (全17頁)

(21)出願番号 特願平10-328882

(22)出願日 平成10年11月4日(1998.11.4)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 中山 博喜

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(74)代理人 100086818

弁理士 高梨 幸雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ズームレンズ

(57)【要約】

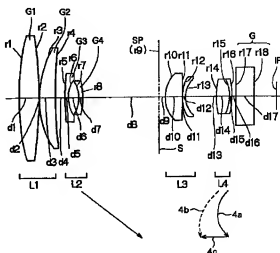
【課題】 広角端から望遠端に至る全変倍範囲に渡り、又無限遠物体から超至近物体に至る物体距離全般に渡り、良好なる光学性能を有し回折光学素子を利用したリヤーフォカス式のズームレンズを得ること。

【解決手段】 物体側より順に正の屈折力の第1群、負の屈折力の第2群、正の屈折力の第3群、そして第4群の4つのレンズ群を有し、該第2群と第4群を移動させて変倍を行うズームレンズにおいて、該第1群と第2群はそれぞれ光軸に対して回転対称な回折光学素子を少なくとも1つ有しており、該第1群が有するレンズ枚数をN1C、全系の変倍比をZ、該第1群と第2群が有するレンズの任意のレンズの材質のアッペ数をνとしたとき、

【数1】

$$N1C < \sqrt{Z/2} \\ \nu < 7.2$$

を満足すること。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体側より順に正の屈折力の第 1 群、負の屈折力の第 2 群、正の屈折力の第 3 群、そして第 4 群の 4 つのレンズ群を有し、該第 2 群と第 4 群を移動させて変倍を行うズームレンズにおいて、該第 1 群と第 2 群はそれぞれ光軸に対して回転対称な回折光学素子を少なくとも 1 つ有しており、該第 1 群が有するレンズ枚数を  $N1C$ 、全系統の変倍比を  $Z$ 、該第 1 群と第 2 群が有するレンズの任意のレンズの材質の阿ッペ数を  $\nu$  としたとき、

【数 1】

$$N1C < \frac{\sqrt{Z/2}}{\nu < 1/2}$$

を満足することを特徴とするズームレンズ。

【請求項 2】 前記第 4 群は正の屈折力を有していることを特徴とする請求項 1 のズームレンズ。

【請求項 3】 前記第 4 群は負の屈折力を有していることを特徴とする請求項 1 のズームレンズ。

【請求項 4】 前記回折光学素子は種々な回折格子より成っていることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 のズームレンズ。

【請求項 5】 物体側より順に正の屈折力の第 1 群、負の屈折力の第 2 群、正の屈折力の第 3 群、第 4 群、そして正の屈折力の第 5 群の 5 つのレンズ群を有し、該第 2 群と第 4 群を移動させて変倍を行うズームレンズにおいて、該第 1 群と第 2 群はそれぞれ光軸に対して回転対称な回折光学素子を少なくとも 1 つ有しており、該第 1 群が有するレンズ枚数を  $N1C$ 、全系統の変倍比を  $Z$ 、該第 1 群と第 2 群が有するレンズの任意のレンズの材質の阿ッペ数を  $\nu$  としたとき、

【数 2】

$$N1C < \frac{\sqrt{Z/2}}{\nu < 1/2}$$

を満足することを特徴とするズームレンズ。

【請求項 6】 前記第 4 群を光軸上移動させてフォーカスを行っていることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項のズームレンズ。

【請求項 7】 前記回折光学素子は 1 層構成又は互いに分散の異なる材質より成る 2 層構成より成っていることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項のズームレンズ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はズームレンズに関し、特にレンズ系の一部に回折光学素子を用いることによって諸収差、特に色収差を良好に補正した写真用カメラやビデオカメラ、そして放送用カメラ等に用いられる大口径比で高変倍比のレンズ系全体の小型化を図ったズームレンズに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 最近、ホームビデオカメラ等の小型・軽量化に伴い、撮像用のズームレンズは小型化されている。特にズームレンズにおいては、レンズ全長の短縮化や前玉径の小型化、構成の簡略化に力が注がれている。

【0003】 又、最近のビデオカメラ用 of のズームレンズに対しては 10 倍以上の高変倍比を有し、しかもレンズ系全体が小型のズームレンズが強く要望されている。

【0004】 これらの目的を達成する一つの手段として、物体側の第 1 群以外のレンズ群を移動させてフォーカスを行う、所謂リヤーフォーカス式のズームレンズが知られている。

【0005】 一般にリヤーフォーカス式のズームレンズは第 1 群を移動させてフォーカスを行うズームレンズに比べて第 1 群の有効径が小さくなり、レンズ系全体の小型化が容易になり、又近接撮影、特に極近接撮影が容易となり、更に比較的小型・軽量のレンズ群を移動させて行っているため、レンズ群の駆動力が小さくすみ迅速な焦点合わせができる等の特長がある。

【0006】 このようなリヤーフォーカス式のズームレンズとして、例えば特開昭 62-215225 号公報や、特開昭 62-220651 号公報、特開昭 62-24213 号公報、特開昭 63-24731 号公報、そして特開平 4-43311 号公報では、物体側より順に正の屈折力の第 1 群、負の屈折力の第 2 群、正の屈折力の第 3 群、そして正の屈折力の第 4 群の 4 つのレンズ群を有し、第 2 群を移動させて変倍を行い、第 4 群を移動させて変倍に伴う像面変動とフォーカスを行った 4 群タイプのリヤーフォーカス式のズームレンズが提案されている。

【0007】 又、特開平 4-301612 号公報では物体側より順に正の屈折力の第 1 群、負の屈折力の第 2 群、正の屈折力の第 3 群、正の屈折力の第 4 群、そして負の屈折力の第 5 群の 5 つのレンズ群を有し、第 2 群を移動させて変倍を行い、第 4 群を移動させて変倍に伴う像面変動の補正とフォーカスを行い、レンズ系全体をテレフォトタイプに近づけてレンズ全長の短縮化を図った 5 群タイプのズームレンズが提案されている。

【0008】 一方、多くのズームレンズにおいては、レンズ系中に非球面を設けることによって諸収差を良好に補正しつつ、レンズ系全体の小型化を図りつつ、高い光学性能を得ている。

【0009】 又、諸収差のうち色収差については分散の異なる硝材を組み合わせて補正するの他に他にはレンズ面又は光学系の一部に回折作用を有する回折光学素子を設けて補正した光学系が、例えば特開平 4-213421 号公報や特開平 6-324262 号公報、米国特許第 5,268,790 号等で提案されている。このうち、米国特許第 5,268,790 号では第 2 群と第 3 群に回折光学素子を用いたズームレンズを提案している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】一般に、高変倍比のズームレンズにおいて色収差を補正する為には、第1群に高分散の負レンズと低分散の正レンズを多用し、又、変倍用の第2群にも低分散の負レンズと高分散の正レンズを用いる必要がある。

【0011】特に、変倍比10倍以上の50倍程度のズームレンズでは、色収差の補正が重要となり、第1群内に低分散の正レンズを2枚又は3枚以上用いる必要があり、この結果、第1群のレンズ枚数が増加して、レンズ系全体が大型化してくる傾向があった。

【0012】一方、ズームレンズにおいてリヤフォーカス方式を採用するとレンズ系全体が小型化され迅速なるフォーカスが可能となり、更に近接撮影が容易となる等の特長が得られる。

【0013】しかしながら反面、フォーカスの際の収差変動が大きくなり、無限遠物体から近距離物体に至る物体距離全般にわたり高い光学性能を得るのが大変難しくなってくるという問題点が生じてくる。

【0014】例えば、大口径比で高変倍のズームレンズでは変倍による色収差の変動が大きくなってきて全変倍範囲にわたり、又物体距離全般にわたり高い光学性能を得るのが大変難しくなってくるという問題点が生じてくる。

【0015】特にズーム比が10倍以上、例えば50倍程度の高変倍比の4群又は5群より成るズームレンズでは各レンズ群内で発生する色収差を補正するため、低分散ガラスより成るレンズや張り合わせレンズを用いることが多い。そしてレンズ群に対し、非球面を用いることによりレンズ群のレンズ枚数を削減し、レンズ全長を短くする方法がとられている。

【0016】しかしながら、レンズ枚数を減らすと色収差の補正をする要素が不十分になってきて、変倍に伴う色収差の変動を良好に補正することが困難になってくる。

【0017】一般に正レンズに低分散ガラスを用いれば、色収差を軽減することもできる。しかしながら一般に低分散のガラスは屈折率が低く加工が難しいレンズ形状になりやすい。この為、例えば第1群又は第2群の屈折力を弱くすると、これに応じて他のレンズ群の屈折力を弱くしなければならず、この結果、第1群の径が大きくなり結果として第1群のレンズ肉厚を増す必要が生じてレンズ全長が長大化してくる。

【0018】本発明は、4群タイプ又は5群タイプのリヤフォーカス式のズームレンズにおいて、各レンズ群のレンズ構成を適切に設定することにより、広角端から望遠端に至る全変倍範囲にわたり、又無限遠物体から超至近物体に至る物体距離全般にわたり、良好なる光学性能を有した大口径比で高変倍比のズームレンズの提供を目的とする。

【0019】特に、4群タイプ又は5群タイプのリヤ

フォーカス式のズームレンズにおいて第1群と第2群に各々回折光学素子を導入し、回折光学的な作用を利用することで第1群と第2群で発生する色収差を低減しつつ第1群と第2群のレンズ枚数を削減し、レンズ全長の小型化を達成し、かつ第1群を軽量化すると共に、広角端から望遠端に至る全変倍範囲にわたり良好なる光学性能を有するズームレンズの提供を目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明のズームレンズは、

(1-1) 物体側より順に正の屈折力の第1群、負の屈折力の第2群、正の屈折力の第3群、そして第4群の4つのレンズ群を有し、該第2群と第4群を移動させて変倍を行うズームレンズにおいて、該第1群と第2群はそれぞれ光軸に対して回転対称な回折光学素子を少なくとも1つ有しており、該第1群が有するレンズ枚数をN1C、全系統の変倍比をZ、該第1群と第2群が有するレンズの任意のレンズの材質のアッペル数を $\nu$ としたとき、

【0021】

【数3】

$$N1C < \sqrt{Z/2} \cdots (a1) \\ \nu < 72 \cdots (a2)$$

を満足することを特徴としている。

【0022】(1-2) 物体側より順に正の屈折力の第1群、負の屈折力の第2群、正の屈折力の第3群、第4群、そして正の屈折力の第5群の5つのレンズ群を有し、該第2群と第4群を移動させて変倍を行うズームレンズにおいて、該第1群と第2群はそれぞれ光軸に対して回転対称な回折光学素子を少なくとも1つ有しており、該第1群が有するレンズ枚数をN1C、全系統の変倍比をZ、該第1群と第2群が有するレンズの任意のレンズの材質のアッペル数を $\nu$ としたとき、

【0023】

【数4】

$$N1C < \sqrt{Z/2} \cdots (a1) \\ \nu < 72 \cdots (a2)$$

を満足することを特徴としている。

【0024】

【発明の実施の形態】図1～図3は、本発明の数値実施例1の広角端のレンズ断面図、広角端の収差図、望遠端の収差図である。図4～図6は、本発明の数値実施例2の広角端のレンズ断面図、広角端の収差図、望遠端の収差図である。図7～図9は、本発明の数値実施例3の広角端のレンズ断面図、広角端の収差図、望遠端の収差図である。

【0025】まず、図1、図4の数値実施例1、2のレンズ構成の特徴について説明する。図1、図4において、L1は正の屈折力の第1群、L2は負の屈折力の第2群、L3は正の屈折力の第3群、L4は正の屈折力の第4群である。SPは開口絞りであり、第3群L3の前

方に配置している。Gは色分解光学系やフェースプレート、そしてフィルター等のガラスブロックである。1Pは像面である。

【0026】本実施形態では広角端から望遠端への変倍に際して矢印のように第2群を像面側へ移動させると共に、変倍に伴う像面変動を第4群を物体側に凸状の軌跡を有しつつ移動させて補正している。

【0027】又、第4群を光軸上移動させてフォーカスを行うリヤフォーカス式を採用している。同図に示す第4群の実線の曲線4aと点線の曲線4bは各々無限遠物体と近距離物体にフォーカスしているときの広角端から望遠端への変倍に伴う像の像面変動を補正する為の移動軌跡を示している。尚、第1群と第3群は変倍及びフォーカスの際固定である。尚、第2群の変倍負担を少なくする為に第1群を変倍の際に移動させても良い。

【0028】本実施形態においては第4群を移動させて変倍に伴う像面変動の補正を行うと共に第4群を移動させてフォーカスを行うようにしている。特に同図の曲線4a、4bに示すように広角端から望遠端への変倍に際して物体側に凸状の軌跡を有する空間に移動させている。これにより第3群と第4群との空間の有効利用を図

$$\varphi(h) = 2\pi/\lambda \cdot (C_1 \cdot h^2 + C_2 \cdot h^4 + C_3 \cdot h^6 + \dots + C(i) \cdot h^{2i}) \dots (1)$$

の式で表されるものである。

【0033】次に数値実施例1、2のその他の構成の特徴について説明する。

【0034】(7-1) 該第1群と第2群はそれぞれ光軸に対して回転対称な回折光学素子を少なくとも1つ有しており、該第1群が有するレンズ枚数をN1C、全系の変倍比をZ、該第1群と第2群が有するレンズの任意のレンズの材質のアッペル数を $\nu$ としたとき、

【0035】

【数5】

$$N1C < \sqrt{Z/2} \dots (a1) \\ \nu < 72 \dots (a2)$$

を満足している。

【0036】これによって、第1群と第2群のレンズ枚数を少なくしつつ、全変倍範囲に渡り色収差を良好に補正している。尚、条件式(a2)は更に光学性能上好ましくは、

$$23 < \nu < 72 \dots (a2')$$

を満足させるのが良い。

【0037】(7-2) 数値実施例1においては、第1群L1は2枚の正レンズG1、G2で構成し、その物体側の正レンズG1の像面側のレンズ面に回折光学素子を設けている。又、第2群L2は2枚の負レンズG3、G4で構成し、その像面側の負レンズのG4の物体側のレンズ面に回折光学素子を設けている。第3群L3と第4群L4の最も物体側のレンズ面はそれぞれ非球面より構成している。

【0038】(7-3) 数値実施例2においては、第1群L

リレンズ全長の短縮化を効果的に達成している。

【0029】本実施形態において、例えば望遠端において無限遠物体から近距離物体へフォーカスを行う場合は同図の直線4cに示すように第4群を前方へ繰り出すことにより行っている。

【0030】本実施形態では第1群と第2群に各々少なくとも1つの光軸に対して回転対称の回折光学素子を設け、その位相を適切に設定し、これにより第1群と第2群で発生する色収差を低減し、全変倍範囲にわたり色収差を良好に補正している。

【0031】本実施形態における回折光学素子は、ホログラフィック光学素子(HOE)の製作手法であるリソグラフィック手法で2値的に製作している。回折光学素子はバイナリーオプティクス(BINARY OPTICS)で製作しても良い。この場合、更に回折効率を上げるためにキノフォームと呼ばれる鋸状の形状にしても良い。またこれらの方法で製作した方によって成型により製造しても良い。

【0032】また本実施形態における回折光学素子の形状は、基準波長(d線)を $\lambda$ 、光軸からの距離をh、位相を $\varphi(h)$ としたとき

1は負レンズG1と正レンズG2で構成し、像面側の正レンズG2の像面側のレンズ面に回折光学素子を設けている。又、第2群L2は2枚の負レンズG3、G4で構成し、像面側の負レンズG4の物体側のレンズ面に回折光学素子を設けている。第3群L3と第4群L4の最も物体側のレンズ面は各々非球面より構成している。

【0039】(7-4) これらの数値実施例1、2では、第3群L3は絞りSPを前方にスレーミング中に固定の正レンズ群であり、正の第4群L4は変倍による像面変動を補正すると共に、距離合わせも第4群L4により行っている。

【0040】(7-5) 第1群L1の別なレンズ構成としては、数値実施例1では第1群L1を2枚の正レンズで構成し、その前後或いは中間に少なくとも1枚の回折光学面を有するプレートを有するようにしている。

【0041】更に別な第1群L1の構成としては、正レンズ、負レンズ、又は負レンズ、正レンズの2枚で構成し、いずれかの面に回折光学素子を有するようにしている。このとき、正レンズと負レンズは貼合わせでも良い。その際に色収差はこの貼合わせ面と共働で補正し、回折光学素子は正の屈折力を強める必要がある。

【0042】(7-6) 第2群L2の別の構成としては、数値実施例1、2のように2枚の負レンズで構成し、その前後或いは中間に少なくとも1枚の回折光学素子を有するプレートを有するようにしている。

【0043】更に別の第2群L2の構成としては、正レンズ、負レンズの2枚、又は負レンズ、正レンズの2枚で構成し、いずれかの面に回折光学素子を有するように

しても良い。

【0044】次に図7の数値実施例3のレンズ構成の特徴について説明する。数値実施例3は変倍比5.0倍程度の高変倍比の5群ズームレンズである。

【0045】図7において図中、L1は正の屈折力の第1群（第1レンズ群）、L2は負の屈折力の第2群（第2レンズ群）、L3は正の屈折力の第3群（第3レンズ群）、L4は負の屈折力の第4群（第4レンズ群）、L5は正の屈折力の第5群（第5レンズ群）である。SPは開口絞りであり、第3群L3の前方に配置している。IPは像面である。

【0046】Gは色分解光学系やフェースプレート、そしてフィルター等のガラスブロックである。広角端から望遠端への変倍に際して矢印のように第2群L2を像面側へ移動させると共に、変倍に伴う像面変動を第4群を物体側に凸状の軌跡を有するように移動させて補正している。又、第4群を光軸上移動させてフォーカスを行うリヤフォーカス式を採用している。

【0047】図7に示す第4群の実線の曲線4aと点線の曲線4bは各々無限遠物体と近距離物体にフォーカスしているときの広角端から望遠端への変倍に伴う像面変動を補正する為の移動軌跡を示している。第1群、第3群、第5群は変倍及びフォーカスの際、固定である。

【0048】本実施形態においては第4群を移動させて変倍に伴う像面変動の補正を行うと共に第4群を移動させてフォーカスを行うようにしている。特に同図の曲線4a、4bに示すように広角端から望遠端への変倍に際して物体側に凸状の軌跡を有するように移動させている。これにより第3群と第4群との空気の有効利用を図り、レンズ全長の短縮化を効果的にしている。

【0049】本実施形態において、例えば望遠端において無限遠物体から近距離物体へフォーカスを行う場合は同図の曲線4cに示すように第4群を前方へ繰り出すことにより行っている。

【0050】本実施形態における5群ズームレンズにおいて第1群を1枚の負レンズと3枚の正レンズで構成し、負レンズと正レンズの貼合わせレンズの像面側のレンズ面に光軸に対して回転対称の回折光学素子进行を設けている。回折光学素子の形状は式(1)で示す数値実施例1、2と同様である。

【0051】又、第2群L2は2枚の負レンズと、負レンズと正レンズの貼合わせレンズの4枚のレンズで構成し、2枚目の負レンズの像面側のレンズ面に回折光学素子进行を設けている。

【0052】次に数値実施例3のその他の構成の特徴について説明する。

【0053】(i-1) 該第1群と第2群はそれぞれ光軸に対して回転対称な回折光学素子を少なくとも1つ有しており、該第1群が有するレンズ枚数をN1C、全系の変

倍比をZ、該第1群と第2群が有するレンズの任意のレンズの材質のアッペ数値を $\nu$ としたとき、

【0054】

【数6】

$$N1C < \sqrt{\frac{Z}{2}} \cdot \frac{(a1)}{\nu < 72} \cdot \frac{(a2)}{\dots}$$

を満足している。

【0055】これによって、第1群と第2群のレンズ枚数を少なくしつつ、全変倍範囲に渡り色収差を良好に補正している。尚、条件式(a2)は更に光学性能上好ましくは、

$$23 < \nu < 72 \cdot \frac{(a2')}{\dots}$$

を満足させるのが良い。

【0056】(i-2) 第3群L3は正レンズ、正レンズと負レンズの貼合わせレンズ、そして正レンズの4つのレンズより構成している。

【0057】(i-3) 第4群L4は正レンズと負レンズの貼合わせレンズより構成している。

【0058】(i-4) 第5群L5は正レンズ、負レンズと正レンズの貼合わせレンズの3つのレンズより構成している。

【0059】次に、本発明の各数値実施例の特徴について説明する。

【0060】いずれの実施例の場合も最も物体側のレンズ面には、収差補正上やむを得ない等の特別な場合を除いて、回折光学素子は配置しない方が良い。これは回折光学素子はかなり狭い幅、例えば数 $\mu\text{m}$ 或いはサブ $\mu\text{m}$ のオーダーの溝で構成されており、塵埃等からレンズ表面を保護する為である。

【0061】第1群L1内に回折光学素子を配置して、適当に回折光学素子の位相を選択することにより、第1群L1で発生する色収差、例えばd線とg線といった2波長の色収差は小さく抑えられ、全体としての色収差のズミングによる変動を小さく抑えている。尚、このとき望遠端に色収差（2次スペクトル）が残存してくる。

【0062】一方、第2群L2内に回折光学素子を配置して、適当に回折光学素子の位相を選択することにより、第2群L2で発生する色収差、例えばd線とg線といった2波長の色収差は小さく抑えられ、全体としての色収差のズミングによる変動を小さく抑えている。このとき望遠端に残存する色収差（2次スペクトル）は、第1群L1とは反対の方向になる。

【0063】本発明では、このように絞り5よりも物体側のレンズ群と変倍群、つまり第1群L1及び第2群L2に回折光学素子を用いて、変倍により2次スペクトルを少なくしている。

【0064】即ち、上述したように第1群L1と変倍用の第2群L2は、それぞれ光軸に対して回転対称な少なくとも1枚の回折光学面を配置することにより、第1群L1、第2群L2内で基準波長（d線とg線）の色収差

を小さく抑え、変倍群でそれぞれで発生する2次スペクトルを逆方向に発生させて、第1群L1と第2群L2により共働して全体として良好な色収差を達成している。

【0065】このように構成することにより、第1群L1を構成するレンズは低分散の2つの正レンズ、又は高分散の負レンズと低分散の正レンズをそれぞれ1枚或いは2枚以上を有し、更に負レンズと正レンズを貼合わせたり複数のレンズで分担して色消しを行っている。そして回折光学素子によって色収差の補正に使うレンズ枚数を減少させ、全体として構成レンズ枚数を削減している。又、第2群L2を構成するレンズも低分散の負レンズと高分散の正レンズをそれぞれ2枚以上、或いは1枚を有し、更に負レンズと正レンズを貼合わせたり、複数のレンズで分担して色消しを行っている。そして回折光学素子によって色収差の補正に使うレンズ枚数が減少し、全体として構成レンズ枚数を削減している。

【0066】このような構成とすることにより、高変倍化や小型化を行っても、高分散や低分散の高価な回折材を用いることなく安価な構成でズームレンズが達成できる。1.0倍を超えるズームレンズにおいても、良好な性能を維持しながら更なる小型化が達成できるようになる。具体的には第1レンズ群と第2レンズ群を構成するレンズのアップ数は $2.3 < v < 7.2$ の範囲で可能であるが1.0倍程度の変倍では $2.3 < v < 6.5$ の範囲程度でも可能である。

【0067】具体的なズームレンズの色収差を軽減する方法としては、回折光学素子をする第1群の屈折力をF<sub>i</sub>とするとときには、次の式を満たす面を少なくとも1面有することが好ましい。

$$F_i \cdot C_i < 0 \quad (i=1, 2) \dots (2)$$

ここで、C<sub>i</sub>は第i群L<sub>i</sub>内にある回折光学面による近軸的屈折力を表し、この近軸的屈折力C<sub>i</sub>が正の値を持つときは第i群の屈折力は負、屈折力C<sub>i</sub>が負の値を持つときは第i群の屈折力は正を有する。正レンズ群のときも負レンズ群のときも、そのレンズ群の曲率を緩くできる構成になり、収差補正上有効である。

【0069】(1)式において分けることは、光軸からの距離hによって位相を調節できることである。レンズ径が大きければ大口径、高次の係数の影響が大きくなる。本実施例で述べている民生用のズームレンズ、特にビデオ用のズームレンズにおいては小型化が進められており、余り大きなレンズ、つまり距離hが大きいレンズは少ない。その上で、小さなレンズにおいても効率的に係数を生かして、有効な収差補正を達成するには次の条件式を満足することが好ましい。但し、C<sub>2i</sub>、C<sub>3i</sub>はそれぞれ第i群内にある回折光学素子の(1)式における4次項、6次項の係数である。

$$1 \cdot 10^{-4} < |C_{2i}/C_i| < 1 \cdot 10^{-1} \dots (3)$$

$$1 \cdot 10^{-7} < |C_{3i}/C_i| < 1 \cdot 10^{-2} \dots (4)$$

これらの式は前述したように、小さい径において有効に収差補正をする為のものである。これらの条件式を外れると、収差補正が難しくなるだけでなく、回折光学面を製作し難くなり、適当でない。

【0071】上述したように、第1群L1内と第2群L2内に配置された回折光学素子により、それぞれのレンズ群で発生する色収差(2次スペクトル)を共働して小さく抑え、第2群L2の移動による色収差のズーミングによる変動も小さく抑えられる。このとき、第4群L4の像面側に更に固定の第5の負レンズ群を配することもできる。このとき、第5群は全体が望遠タイプとなるように構成して、更なる小型化を図っても良い。

【0072】実施例のように、第1群L1及び第2群L2の貼合わせ等の色消しの代わりの色収差補正を、回折光学素子で行う場合の屈折力は余り必要ではない。

【0073】ここで、若干の軸外収差、特に像面湾曲、ディストーション補正の為に屈折力を持たせても良い。その場合の第1、第2群L1、L2の回折光学素子の焦点距離をFbo1、Fbo2、第1、第2群L1、L2の焦点距離をF1、F2とするとき以下の条件を満たしていれば、製作についても難しくなく、色収差を含めた収差補正にも良好である。

$$\begin{aligned} & \text{【0074】} \\ & 0.05 < F1/Fbo1 < 0.7 \dots (5) \\ & 0.05 < F2/Fbo2 < 0.7 \dots (6) \end{aligned}$$

特に、回折光学素子をするレンズ群は、次の数値範囲内にあることが好ましい。特に1.0倍以上の高変倍比のときは、

$$1.0 < F1/(Fw \cdot Ft) \cdot 1/2 < 3.0 \dots (7)$$

特に、1.0倍程度の変倍の場合は、

$$1.0 < F1/(Fw \cdot Ft) \cdot 1/2 < 2.5 \dots (7')$$

ただし、Fw、Ftはそれぞれ広角端、望遠端の全系の焦点距離である。この範囲内であれば、回折光学素子の働きを有効に引き出すことができる。この(7)式の下限値を逸脱すると、第1群L1の屈折力が強過ぎて色収差を回折光学系で補正しきれなくなり、製作についても難しくなる。又、上限値を超えると回折光学素子を使用しなくとも、色収差の除去は容易になる。又、所望の焦点距離のレンズを得る為に特に第2群L2の屈折力が強くなり、第2群L2で発生する収差量が大きくなり適用でない。即ち、ベッツバルと負に大きくなり、像面湾曲が補正過剰になる。

【0075】又、回折光学素子が1面しかない場合には、次の式を満足していることが好ましい。

$$\begin{aligned} & \text{【0076】} \\ & |F_i/Rboi| < 1.8 \dots (8) \end{aligned}$$

ここで、Rboiは回折光学素子を形成しているi群内の面の曲率半径である。Rboi=∞のときはベース面が平面である。この(8)式を逸脱するとベースの曲面で発生する

収差を回折光学系で補正しきれずに、回折光学系の効果を十分に引き出せず適当ではない。

【0077】一般に、回折光学素子は通常の屈折により発生する色収差と反対の色収差が発生する。例えば、従来の貼合わせ面等により色消しを行っていたレンズを除去し、レンズ枚数を削減する場合は、その貼合わせ面で発生していた色収差分担と反対の色収差分担を有する面を回折光学素子とすることが良い。そのようにすれば、通常の屈折により発生する色収差と反対の色収差が回折光学素子上で発生し、その方向は元々有する貼合わせ面での色収差発生方向と同じものとなり、貼合わせ等の色消しが単レンズ上で可能となる。

【0078】色収差係数（共立出版株式会社、松井吉哉著「レンズ設計法」第89頁）といった視点から見ると、絞り5よりも物体側の面では、軸上色収差係数 $\lambda$ と倍率色収差係数 $T$ が同一符号の面に回折光学素子を配置し、絞り5よりも像面側の面では両方が逆符号の面に回折光学素子を配置することが好ましい。

【0079】これにより、第1群 $L1$ を構成するレンズは回折光学素子によって色収差が低減され、構成レンズ枚数を削減でき、良好な性能を維持しながら更なる小型化を達成できるようになる。

【0080】特に、第1群 $L1$ を構成するレンズの光軸上の厚みを $t1$ とすると、次の条件式を満たすことが好ましい。

【0081】

$$0.1 < t1 / F1 < 0.33 \cdots (9)$$

特に、第2群 $L2$ を構成するレンズの光軸上の厚みを $t2$ とすると、次の条件式を満たすのが好ましい。特に10倍以上の高倍のときは、

$$0.05 < t2 / F1 < 1.5 \cdots (10)$$

更に10倍程度のときは、

$$0.05 < t2 / F1 < 0.4 \cdots (10')$$

この(9)式、(10)式は、回折光学素子を有効に用いられた範囲を示し、回折光学素子を用いると(2)式の個所で述べたように、曲率が緩くても所望の屈折力が得られる。又、色収差補正のための凹レンズ（第1レンズ群 $L1$ ）、凸レンズ（第2レンズ群 $L2$ ）との組み合わせを回折光学素子によって廃止できれば、更にレンズの厚みが薄くなり有効に使われたことによる。

【0082】10倍以上の高倍のときは、収差の変動を抑える為厚くなりがちであるが、回折光学素子により薄くすることが可能である。

【0083】(9)、(10)式の上限を逸脱すれば、通常のガラスレンズにおいても可能な厚みであり、回折光学素子を有効に使用していない。又、下限値を逸脱すると回折による屈折力が多大に必要となり、収差の発生が大きくなり適当でない。

【0084】尚、本実施例には記載していないが、第1群レンズ $L1$ 、或いは第2群レンズ $L2$ を回折光学素

子を用いて1枚で達成することも可能である。

【0085】本実施形態で用いている回折光学素子の構成としては図10に示す1層のキ/フォーム形状の1層構成のものや、図13に示すような格子厚の異なる（又は同一の）2つの層を積層した2層構成のもの等が適用可能である。

【0086】図11は図10に示す回折光学素子101の1次回折光の回折効率の波長依存特性である。実際の回折光学素子101の構成は、基材102の表面に紫外線硬化樹脂を塗布し、樹脂部に波長530nmで1次回折光の回折効率が100%となるような格子厚 $d$ の層103を形成している。

【0087】図11で明らかにように設計次数の回折効率は最適化した波長530nmから離れるに従って低下し、一方設計次数近傍の次数の0次回折光と2次回折光の回折効率が增大している。その設計次数以外の回折光の増加はフレアとなり、光学系の解像度の低下につながる。

【0088】図12(A)、(B)に図10の格子形状で数値実施例1を作成した場合の空間周波数に対するMTF特性を示す。その図で低周波数領域のMTFがやや低下している。

【0089】図13に示す2つの層104、105を積層した積層型の回折光学素子の1次回折光の回折効率の波長依存特性を図14に示す。

【0090】図13では基材102上に紫外線硬化樹脂（ $n_d=1.499$ 、 $\nu d=54$ ）からなる第1層104を形成し、その上に別の紫外線硬化樹脂（ $n_d=1.598$ 、 $\nu d=28$ ）からなる第2層105を形成している。この材質の組み合わせで、第1層104の格子厚 $d1$ は $d1=18.8\mu m$ 、第2層105の格子厚 $d2$ は $d2=10.5\mu m$ としている。

【0091】図14から分かるように積層構造の回折光学素子にすることで、設計次数の回折効率は、使用波長全域で95%以上の高い回折効率を有している。

【0092】図15(A)、(B)に図14の格子形状で数値実施例1を作成した場合の空間周波数に対するMTF特性を示す。積層構造の回折光学素子を用いると、低周波数のMTFは改善され、所望のMTF特性が得られる。このように、本発明に係る回折光学素子として積層構造を用いれば、光学性能を更に改善することができる。

【0093】なお、前述の積層構造の回折光学素子として、材質を紫外線硬化樹脂に限定するものではなく、他のプラスチック材等も使用できるし、基材によっては第1の層104を直接基材に形成しても良い。また各格子厚が必ずしも異なる必要はなく、材料の組み合わせによっては図16に示すように2つの層104と105の格子厚を等しくしても良い。

【0094】この場合は、回折光学素子の表面に格子形



状が形成されないで、防塵性に優れ、回折光学素子の組立作業性を向上させることができる。

【0095】次に本発明の数値実施例を示す。数値実施例において  $r_i$  は物体側より順に第  $i$  番目のレンズ面の曲率半径、 $d_i$  は物体側より順に第  $i$  番目のレンズ厚及び空気間隔、 $n_i$  と  $\nu_i$  は各々物体側より順に第  $i$  番目のレンズのガラスの屈折率とアッペ数である。又、前述の各条件式と数値実施例の関係を表-1に示す。

【0096】非球面形状は光軸方向にX軸、光軸と垂直方向にY軸、光の進行方向を正としRを近軸曲率半径、K, B, C, D, E, Fを各々非球面係数としたとき、

数値実施例1

f=4.19000~41.9		fno=1:1.850~2.01		2ω=60.6~6.7°	
r1=42.051	d1=2.80	n1=1.51633	ν1=64.2		
r2=-95.904 (圓折面)	d2=0.17				
r3=14.187	d3=2.60	n2=1.51633	ν2=64.2		
r4=81.587	d4=可変				
r5=50.589	d5=0.50	n3=1.72000	ν3=60.3		
r6=4.533	d6=2.17				
r7=-5.518 (圓折面)	d7=0.50	n4=1.53172	ν4=64.8		
r8=-12.444	d8=1.53				
r9=(紋)	d9=1.00				
*r10=5.044	d10=3.02	n5=1.58313	ν5=58.4		
r11=-77.651	d11=0.08				
r12=6.832	d12=0.56	n6=1.84666	ν6=23.8		
*r13=4.350	d13=可変				
r14=9.425	d14=2.09	n7=1.58313	ν7=58.4		
r15=-5.413	d15=0.50	n8=1.84666	ν8=23.8		
r16=-12.465	d16=1.50				
r17=∞	d17=3.27	n9=1.51633	ν9=64.2		
r18=∞					
焦点距離					
d4=4.19	22.02	41.89			
d8=0.70	9.40	11.85			
d13=11.95	3.25	0.80			
d18=6.22	2.50	0.20			

非球面係数

10面	$K = -1.35872 \cdot 10^0$	$B = 4.42384 \cdot 10^{-4}$	$C = 1.54512 \cdot 10^{-7}$
	$D = -5.26350 \cdot 10^{-9}$	$E = 2.87640 \cdot 10^{-10}$	
14面	$K = -1.05728 \cdot 10^0$	$B = -8.73147 \cdot 10^{-5}$	$C = -2.54226 \cdot 10^{-7}$
	$D = 7.20398 \cdot 10^{-7}$	$E = -5.63081 \cdot 10^{-9}$	

位相係数

2面	$C_1 = -1.58547 \cdot 10^{-3}$	$C_2 = 3.74388 \cdot 10^{-5}$
	$C_3 = -2.07445 \cdot 10^{-9}$	$C_4 = 2.71374 \cdot 10^{-11}$
7面	$C_1 = 9.12449 \cdot 10^{-3}$	$C_2 = -4.40286 \cdot 10^{-4}$
	$C_3 = 4.76936 \cdot 10^{-5}$	$C_4 = -5.12758 \cdot 10^{-8}$

なる式で表している。又「D-O X」は「10-X」を意味している。

【0097】

【数7】

$$X = \frac{(1/X)^2}{1 + \sqrt{1 - (1+X)(Y/R)^2}} + BE^4 + CE^6 + DE^8 + EE^{10} + FF^{12}$$

なる式で表している。又「D-O X」は「10-X」を意味している。

【0098】

【外1】

【0099】

【外2】

## 数値実例 2

$f=4.19000\sim 41.9$	$f_{\text{no}}=1:1.85\sim 2.59$	$2\omega=60.6\sim 6.7^\circ$	
$r1=13.837$	$d1=0.70$	$n1=1.84686$	$\nu 1=23.8$
$r2=10.944$	$d2=0.81$		
$r3=12.205$	$d3=4.60$	$n2=1.69580$	$\nu 2=55.5$
$r4=-164.897$ (凹折面)	$d4=\text{可変}$		
$r5=100.902$	$d5=0.50$	$n3=1.72000$	$\nu 3=50.3$
$r6=4.643$	$d6=1.98$		
$r7=-8.408$ (凹折面)	$d7=0.59$	$n4=1.53172$	$\nu 4=48.8$
$r8=-32.148$	$d8=\text{可変}$		
$r9=(\text{絞り})$	$d9=1.00$		
$*r10=4.930$	$d10=3.02$	$n5=1.58918$	$\nu 5=50.4$
$r11=178.932$	$d11=0.08$		
$r12=5.674$	$d12=0.55$	$n6=1.84666$	$\nu 6=23.8$
$r13=4.350$	$d13=\text{可変}$		
$*r14=9.359$	$d14=2.60$	$n7=1.58313$	$\nu 7=59.4$
$r15=-5.726$	$d15=0.50$	$n8=1.80518$	$\nu 8=25.4$
$r16=-11.150$	$d16=1.50$		
$r17=\infty$	$d17=3.27$	$n9=1.51833$	$\nu 9=54.2$
$r18=\infty$			

## 焦点距離

	4.19	22.12	41.91
$d4$	11.95	9.70	12.15
$d6$	11.95	3.25	0.80
$d13$	5.98	2.49	6.13

## 非球面係数

10面	$K = -1.55272 \cdot 10^0$	$B = 7.35545 \cdot 10^{-4}$	$C = -9.57222 \cdot 10^{-7}$
	$D = -4.39683 \cdot 10^{-9}$	$E = 5.99116 \cdot 10^{-10}$	
14面	$K = -1.81705 \cdot 10^0$	$B = -1.36047 \cdot 10^{-4}$	$C = 7.60311 \cdot 10^{-7}$
	$D = 7.13090 \cdot 10^{-7}$	$E = -8.08475 \cdot 10^{-9}$	

## 位相係数

4面	$C_1 = -1.27721 \cdot 10^{-3}$	$C_2 = 1.64604 \cdot 10^{-5}$
	$C_3 = -7.08588 \cdot 10^{-8}$	$C_4 = -5.54317 \cdot 10^{-10}$
7面	$C_1 = 8.80805 \cdot 10^{-3}$	$C_2 = -3.89564 \cdot 10^{-4}$
	$C_3 = 4.77344 \cdot 10^{-5}$	$C_4 = -5.12753 \cdot 10^{-8}$

{0100}

{外3}



表-1

実施例	1	2	3
第1群内			
$ C_2/C_1 $	$2.38 \times 10^{-3}$	$1.29 \times 10^{-2}$	$1.543 \times 10^{-4}$
$ C_3/C_1 $	$1.31 \times 10^{-6}$	$5.55 \times 10^{-6}$	$6.560 \times 10^{-7}$
第2群内			
$ C_2/C_1 $	$4.82 \times 10^{-2}$	$4.53 \times 10^{-2}$	$8.511 \times 10^{-4}$
$ C_3/C_1 $	$5.23 \times 10^{-3}$	$5.54 \times 10^{-3}$	$5.794 \times 10^{-4}$
F1	20.53	20.84	70.28
F2	-3.914	-3.936	-7.347
Fw	4.19	4.19	3.53
Ft	41.886	41.91	178.76
$\sqrt{Fw \cdot Ft}$	13.248	13.251	25.19
Fbo1	116.94	147.55	1234.08
Fbo2	-8.723	-9.981	-66.319
Rbo1	-94.96	-164.99	-843.02
Rbo2	-5.516	-6.408	70.346
F1/Fbo1	0.176	0.141	0.057
F2/Fbo2	0.449	0.394	0.1108
F1/ $\sqrt{Fw \cdot Ft}$	1.549	1.573	2.790
F1/Rbo1	0.214	0.126	-0.0833
F2/Rbo2	0.710	0.614	0.104
t1/F1	0.271	0.293	0.231
t2/F2	0.154	0.143	1.271
Z	10	10	10
$\sqrt{Z/2}$	2.24	2.24	5

## 【0102】

【発明の効果】本発明によれば、

(γ-1) 4群タイプ又は5群タイプのリヤフォーカス式のズームレンズにおいて、各レンズ群のレンズ構成を適切に設定することにより、広角端から望遠端に至る全変倍範囲にわたり、又無限遠物体から超至近物体に至る物体距離全般にわたり、良好なる光学性能を有した大口徑比で高変倍比のズームレンズを達成することができる。

【0103】(γ-2) 4群タイプ又は5群タイプのリヤフォーカス式のズームレンズにおいて第1群と第2群に各々回折光学素子を導入し、回折光学的な作用を利用することで第1群と第2群で発生する色収差を低減しつつ第1群と第2群のレンズ枚数を削減し、レンズ全長の小型化を達成し、かつ第1群を軽量化すると共に、広角端から望遠端に至る全変倍範囲にわたり良好なる光学性能を有するズームレンズを達成することができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 本発明の数値実施例1のレンズ断面図
- 【図2】 本発明の数値実施例1の広角端の収差図
- 【図3】 本発明の数値実施例1の望遠端の収差図
- 【図4】 本発明の数値実施例2のレンズ断面図
- 【図5】 本発明の数値実施例2の広角端の収差図

【図6】 本発明の数値実施例2の望遠端の収差図

【図7】 本発明の数値実施例3のレンズ断面図

【図8】 本発明の数値実施例3の広角端の収差図

【図9】 本発明の数値実施例3の望遠端の収差図

【図10】 本発明に係る回折光学素子の説明図

【図11】 本発明に係る回折光学素子の波長依存特性の説明図

【図12】 本発明に係る回折光学素子のMTF特性図

【図13】 本発明に係る回折光学素子の説明図

【図14】 本発明に係る回折光学素子の波長依存特性の説明図

【図15】 本発明に係る回折光学素子のMTF特性図

【図16】 本発明に係る回折光学素子の説明図

【符号の説明】

- L1 第1群
- L2 第2群
- L3 第3群
- L4 第4群
- L5 第5群
- SP 絞り
- IP 像面
- ΔM メリディオナル像面

△S サジタル像面

d d線

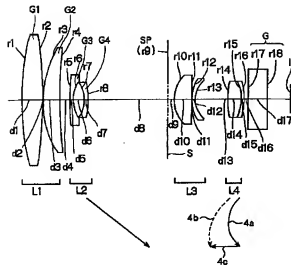
g g線

101 回折光学素子

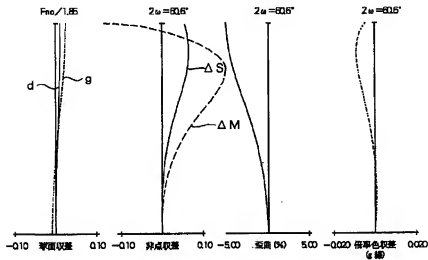
102 基盤

103, 104, 105 層

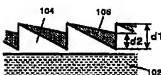
【図1】



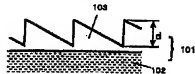
【図2】



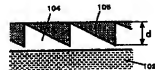
【図13】



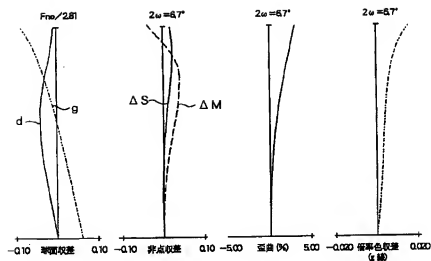
【図10】



【図16】

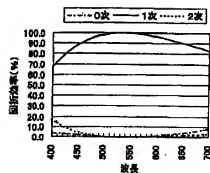
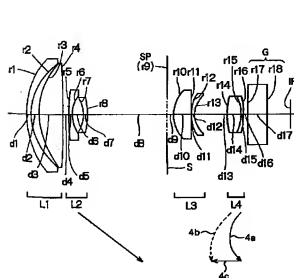


【図3】

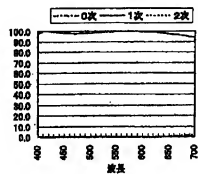


【図4】

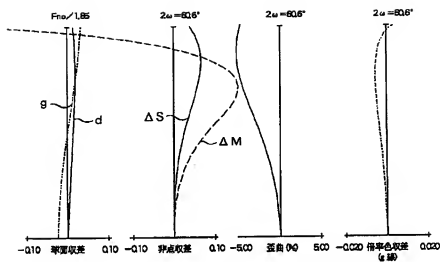
【図11】



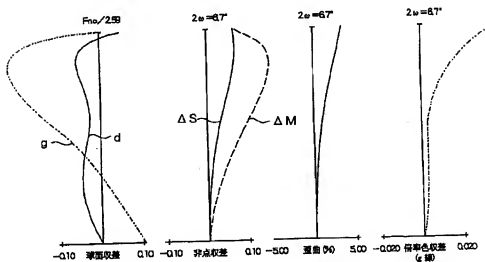
【図14】



【図5】



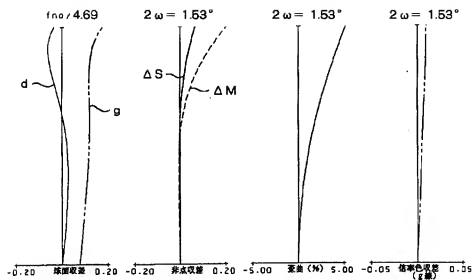
【図6】



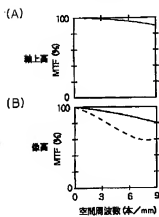




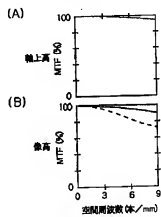
【図9】



【図12】



【図15】



フロントページの続き

Fターム(参考) ZH087 KA02 KA03 MA15 NA14 PA07  
PA12 PA16 PA18 PB08 PB17  
QA02 QA07 QA14 QA17 QA21  
QA25 QA26 QA34 QA37 QA41  
QA42 QA45 QA46 RA05 RA12  
RA13 RA32 RA41 RA42 RA43  
RA46 SA23 SA27 SA29 SA31  
SA32 SA33 SA43 SA47 SA49  
SA53 SA55 SA63 SA65 SA72  
SA74 SA76 SB03 SB05 SB13  
SB15 SB23 SB25 SB33 SB44  
UA01